УДК 004.02

О.С. Литвинская, И.И. Сальников
Пензенская государственная технологическая академия, г. Пенза, Россия
los@pgta.ac.ru

Применение целевой функции в системе поддержки принятия решений при выборе варианта реализации алгоритма последовательной обработки данных

Для модели вычислительного процесса обосновано использование значимых характеристик сигналов и алгоритмов их обработки на основе экспертных оценок. Предложено аналитическое выражение целевой функции, в которую входят параметры как обрабатываемого сигнала, так и характеристики используемого алгоритма. Разработана программа для решения задачи выбора средства реализации алгоритмов, проведены численные эксперименты, подтверждающие основные теоретические результаты работы. Разработанный метод позволяет обоснованно с использованием количественных оценок выбрать варианты реализации специализированных устройств цифровой обработки последовательных потоков данных.

Введение

Задачи принятия решений (ЗПР) встречаются во многих областях знаний и отличаются большим разнообразием. ЗПР имеет место тогда, когда необходимо совершить выбор лучшего в определенном смысле варианта среди существующего множества альтернатив. Любой выбор связан с процессом обработки информации об альтернативах, о критериях качества, о возможных исходах, о системах предпочтений и способах отображения множества допустимых альтернатив в множество критериальных оценок возможных исходов. Предлагаемая работа является применением теории систем поддержки принятия решений (СППР) в области оптимального проектирования специализированных цифровых устройств обработки данных. Разработан метод выбора средства реализации исходного алгоритма, основанный на сравнении значения целевой функции для конкретного вычислительного процесса и значения целевой функции соответствующей модели алгоритма.

Цель работы и постановка задачи

Применение теории систем поддержки принятия решений в области оптимального проектирования специализированных цифровых устройств обработки данных для разработки метода выбора средства реализации алгоритма последовательной обработки данных.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **общие задачи**:
– систематизировать исходные данные, сформировать характеристики, определяемые группами параметров;
– разработать метод принятия решений как активную СППР с использованием критерия, основанного на анализе целевой функции;
– разработать программную реализацию СППР, использующую разработанный метод.

Система принятия решений о выборе варианта реализации алгоритма

В зависимости от вида ЗПР подразделяют на следующие категории:
– задачи в условиях определенности, которые характеризуются полной и точной (как правило, количественной) исходной информацией и детерминированным отображением множества альтернатив в множество критериальных оценок, то есть имеется адекватное математическое описание проблемы. Для решения таких задач применяются методы математического программирования;
– задачи в условиях риска, когда возможные исходы можно описать с помощью некоторого вероятностного распределения, для построения которого необходимо иметь статистические данные или экспертные оценки. Обычно для решения задач этого типа применяются методы теории полезности;
– задачи в условиях неопределенности, когда исходная информация является неполной, неточной, неколичественной, а вид формального отображения является либо слишком сложным, либо не известен. В таких случаях для решения ЗПР привлекаются знания экспертов. Для представления и обработки этих знаний используются различные методы прикладной теории принятия решений и методы искусственного интеллекта.

В работе предполагается применить положения теории систем поддержки принятия решений (СППР) применительно к области оптимального проектирования специализированных цифровых устройств обработки сигналов. В настоящее время СППР успешно развиваются в области экономики и управления. Применение подходов, используемых в СППР для решения технических задач, развито слабо. Выбор средства реализации алгоритмов обработки сигналов – один из важных вопросов, решение которого определяет основные взаимосвязанные показатели качества проектируемой информационной системы, такие как быстродействие, надежность, помехоустойчивость, габариты, масса и потребляемая мощность. Поэтому представляет интерес сравнительная оценка современных интегральных технологий и задача разработки СППР для выбора и обоснования средства реализации специализированных систем обработки сигналов.

Сравнительная оценка предполагает наличие оптимизации некоторой *целевой функции*, которая позволяет выразить необходимые характеристики сигналов и алгоритмов в виде числовых зависимостей. В работе предполагается привести ряд решений, которые позволили бы количественно оценить характеристики обрабатываемого сигнала и реализуемого алгоритма и на основе этих оценок сформировать целевую функцию.

Задачи выбора при проектировании специализированных цифровых устройств обработки данных в условиях неопределенности, когда нет полной (как правило, количественной) исходной информации, сводятся к адекватному математическому описанию проблемы. В этом случае детерминированное отображение множества альтернатив в множество критериальных оценок осуществляется посредством использования математических моделей. Рост числа влияющих факторов приводит к необходимости автоматизации процедуры выбора средств реализации алгоритмов.

В работе описывается разработанная СППР применительно к выбору микроконтроллеров для цифровой обработки последовательных во времени сигналов.

Метод выбора

Основан на формировании **целевой функции модели** вычислительного процесса $\beta_{\text{ВП}}^{(\text{м})}$, имеющей вид

$$\beta_{\text{ВП}}^{(\text{м})} = \beta_{\text{ВП}}^{(\text{м})}\left\{X_1, X_2, ...X_m \mid \gamma_1, \gamma_2, ...\gamma_m\right\}, \quad (1)$$

которая зависит от множества параметров $\{X_1, X_2, ..., X_m\}$ и максимальных значений этих параметров $\left\{\gamma_1, \gamma_2, ..., \gamma_m\right\}$.

Целевая функция представляется как функционал, определенный на множестве возможных решений, и при оптимизации необходимо найти решение, обеспечивающее максимум этого функционала.

Целевая функция будет зависеть от частных параметров моделей алгоритмов и характеристик сигналов, таких как динамический диапазон входного сигнала D_S, влияющий на формат представления входных данных; скорость потока данных, характеризуемая количеством отсчетов обрабатываемого сигнала в единицу времени Π_S ; вид преобразования в виде параметра трансформации отсчетов $N_{\text{ТО}}$; параметр сложности алгоритма $C_{\text{АЛ}}$; количество вычислительных операций $N_{\text{ОП}}$; время выполнения операций в алгоритме $T_{\text{ВО}}$; а также параметры, влияющие на выбор непосредственно микроконтроллеров: производительность $P_{\text{М}}$, разрядность шины данных $N_{\text{ШД}}$, разрядность шины адреса $N_{\text{ША}}$ и объем внутренней памяти программы микроконтроллера $R_{\text{М}}$.

Все параметры, входящие в (1), имеют различные физические единицы измерения. Выполнив нормирование проанализированных параметров

$$X_i \in \left\{D_S, \Pi_S, N_{\text{ТО}}, C_{\text{АЛ}}, N_{\text{ОП}}, T_{\text{ВО}}, P_{\text{М}}, N_{\text{ШД}}, N_{\text{ША}}, R_{\text{М}}\right\} \quad (2)$$

по множеству характеристических свойств

$$\gamma_i = \left\{\gamma_{D_S}, \gamma_{\Pi_S}, \gamma_{N_{\text{ТО}}}, \gamma_{C_{\text{АЛ}}}, \gamma_{N_{\text{ОП}}}, \gamma_{T_{\text{ВО}}}, \gamma_{P_{\text{М}}}, \gamma_{N_{\text{ШД}}}, \gamma_{N_{\text{ША}}}, \gamma_{R_{\text{М}}}\right\}, \quad (3)$$

получим множество нормированных безразмерных параметров:

$$K_i = \frac{X_i}{\gamma_i}; \quad K_i \in \left\{K_{D_S}, K_{\Pi_S}, K_{N_{\text{ТО}}}, K_{C_{\text{АЛ}}}, K_{N_{\text{ОП}}}, K_{T_{\text{ВО}}}, K_{P_{\text{М}}}, K_{N_{\text{ШД}}}, K_{N_{\text{ША}}}, K_{R_{\text{М}}}\right\}. \quad (4)$$

При выборе средства реализации заданного алгоритма в целевой функции (1) не будут учитываться такие показатели, как эксплуатационные характеристики, надежность, технологичность, габаритно-массовые и экономические показатели. Учтены лишь наиболее важные технические параметры проектируемого устройства в виде множества нормированных коэффициентов (4).

Нормированные коэффициенты

Рассмотрим подробнее нормированные коэффициенты, которые формируются из исходных характеристик сигнала, параметров реализуемого алгоритма и требований к проектируемому устройству:

– **коэффициент динамического диапазона** K_{D_S} входного сигнала $S(t)$ определяется динамическим диапазоном в виде $D_S = S_{max} - S_{min}$. В цифровых системах D_S определяется числом уровней квантования $N_S = D_S/S_{min}$ входного сигнала. Для коэффициента динамического диапазона необходимо учесть соотношение разрядности

формата входного потока данных $n_{\text{ШД,ВХ}}$ и разрядности шины данных вычислительной системы $n_{\text{ШД,ВС}}$:

$$K_{D_S} = \begin{cases} \lg N_S, & \text{при} \quad n_{\text{ШД,ВС}} \geq n_{\text{ШД,ВХ}} \\ \lg\left[(2 \cdot \dfrac{n_{\text{ШД,ВХ}}}{n_{\text{ШД,ВС}}} - 1) \cdot N_S \right], & \text{при} \quad n_{\text{ШД,ВС}} < n_{\text{ШД,ВХ}} \end{cases}; \tag{5}$$

– **коэффициент последовательного потока данных** K_{Π_S}, определяющий временные характеристики входного сигнала, а именно скорость поступления отсчетов входного сигнала. С учетом условия теоремы Котельникова, которая связывает интервал дискретизации Δt_i с максимальной частотой F_{max} в спектре сигнала, а также, пронормировав скорость потока данных Π_S по минимальному значению максимальной частоты $F_{max,min}$ и сжав этот диапазон с помощью десятичного логарифма, получим выражение:

$$K_{\Pi_S} = \lg\left[\frac{\Pi_S}{F_{max,min}}\right] = \lg\left[\frac{n_{\text{ШД,ВХ}}}{F_{max,min} \cdot \Delta t_i}\right] = \lg\left[2\frac{F_{max}}{F_{max,min}} \cdot \log_2\left(\frac{D_S H_{S/N}}{4S_{min}}\right)\right], \tag{6}$$

где $H_{S/N}$ – отношение сигнал-шум;

– **коэффициент трансформации отсчетов**, учитывающий вид преобразования входного массива данных. Для оценки вида преобразования предлагается использовать *параметр трансформации отсчетов* входного сигнала N_{TO} – как отношение количества отсчетов выходных сигналов результата преобразования $N_{L,M}$ к количеству отсчетов исходного входного сигнала $N_{I,J}$:

$$N_{TO} = N_{L,M} \ / N_{I,J}. \tag{7}$$

Он зависит от используемого алгоритма и не связан с технической реализацией преобразования. В работе все виды алгоритмов разделены на три: управляющие, вычислительные и преобразовательные. Для управляющих и вычислительных алгоритмов каждый отсчет входного сигнала порождает соответствующий отсчет результата $S_K(t_i) \rightarrow S_{K,ВЫХ}(t_i)$, при этом $N_{TO} = 1$. Преобразовательные алгоритмы выполняют более сложные трансформации отсчетов над массивами данных. В работе рассмотрены следующие виды преобразований:

– *моноэлементные*, когда один входной сигнал порождает один выходной, то есть $S_{i,j} \rightarrow S_{l,m}$. При этом $N_{TO} = 1$. Примером такого вида преобразования может служить алгоритм бинаризации входного изображения;

– *биэлементные преобразования*, когда для получения каждого выходного сигнала используются два входных: $S_{i,j} \rightarrow S_{l,m} \leftarrow S_{p,q}$, например, алгоритм перемножения двух сигналов. Для таких алгоритмов $N_{TO} = 0{,}5$;

– *полиэлементные преобразования*, когда один выходной сигнал порождается совокупностью входных отсчетов, то есть $S_{l,m} = f\{S_{i,j}\}$. Коэффициент трансформации входных данных будет равен $N_{TO} = 1/ N_{I,J}$, то есть $N_{TO} << 1$. Примерами такого преобразования могут быть алгоритмы вычисления среднего значения сигнала, алгоритмы вычисления пространственных характеристик изображений объектов – площади, периметра, координат центра тяжести, координат описанного прямоугольника, момент инерции и т.д.

Поскольку параметр N_{TO} может принимать значения от 1 до 10^{-6}, то необходимо сжать этот диапазон используя десятичный логарифм. Тогда коэффициент трансформации отсчетов примет вид:

$$K_{N_{TO}} = \lg\left(1/N_{TO}\right); \tag{8}$$

– **коэффициент сложности алгоритма**, учитывающий общее число операций в алгоритме и их коэффициенты сложности:

$$K_{C_{АЛ}} = \lg\left(\sum_{i=1}^{N_{ОП}} K_{C,i} \cdot P_{ОП,i}\right) - K_{N_{ОП}}, \tag{9}$$

где $K_{N_{оп}}$ – коэффициент числа операций; $K_{C,i} = T_{ОП} / T_0 \geq 1$ – коэффициент сложности i-операции, в котором определен некоторый условный тактовый период T_0 и время выполнения операции $T_{ОП}$. При определении сложности алгоритма необходимо учесть вероятность появления той или иной операции $P_{ОП,i}$ в различных видах алгоритмов.

Используется следующее разделение видов алгоритмов: преобразовательные алгоритмы (ПА); вычислительные алгоритмы (ВА); управляющие алгоритмы (УА). В табл. 1 приведены результаты подсчетов числа типов операций для основных видов алгоритмов, из которой следует, что характерными операциями управляющих алгоритмов являются условные и безусловные операции передачи управления, операции выбора и логические операции. Характерными операциями вычислительных алгоритмов являются арифметические, логические операции, операция присваивания, а также циклические конструкции. Характерными операциями преобразовательного вида алгоритма являются операции замены, арифметические и логические операции, операции присваивания;

– **коэффициент числа операций** в алгоритме определяется числом операций $N_{ОП}$, которое может быть очень большим. Поэтому его необходимо использовать, как десятичный логарифм:

$$K_{N_{ОП}} = \lg N_{ОП}. \tag{10}$$

Таблица 1 – Распределение вероятностей использования операций в различных видах алгоритмов

Типы операций и $P_{ОП,i}$	Виды алгоритмов		
	Управляющие	Вычислительные	Преобразовательные
Всего операций	4513	678	418
Пересылки в %			
Пересылка в регистр	16,8	11,4	10,2
Обращение к памяти	29,6	24,1	20,1
Обращение к стеку	0,75	0,5	0
Ввод\вывод	10,4	2,4	0,7
Преобразовательные в %			
Сдвиги	0,9	0,4	0
Логические	14,1	10,1	8,4
Арифм. аддитивные	7,8	21,5	28,5
Арифм. мультипликативные	1,1	12,6	1,9
Передачи управления в %			
Условный/безусловный	11,3	12,1	8,1
Вызов подпрограмм	2,6	0,9	8,8
Возврат из подпрограмм	2,6	0,9	8,8
Циклы	1,8	3,01	4,3
Другие	0,25	0,09	0,2

Разделение нормированных коэффициентов на группы

Разделим множество (4) на группы нормированных коэффициентов частных параметров по их функциональному назначению, для каждой из которой сформируем соответствующие обобщенные нормированные коэффициенты:

– **обобщенный коэффициент информационных характеристик сигнала** $K_{\text{ИХС}}$ будет включать в себя группу нормированных коэффициентов, описывающих характеристики входного сигнала: коэффициент динамического диапазона входного сигнала K_{D_S} и коэффициент скорости потока данных $K_{П_S}$:

$$K_{\text{ИХС}} \in \left\{ K_{D_S}, K_{П_S} \right\}; \tag{11}$$

– **обобщенный коэффициент, характеризующий алгоритм**, $K_{\text{АЛ}}$ включает в себя группу нормированных коэффициентов, описывающих алгоритм обработки входного сигнала: коэффициенты трансформации отсчетов $K_{N_{\text{ТО}}}$, коэффициент сложности алгоритма $K_{C_{\text{АЛ}}}$, коэффициент количества вычислительных операций $K_{N_{\text{ОП}}}$:

$$K_{\text{АЛ}} \in \left\{ K_{N_{\text{ТО}}}, K_{C_{\text{АЛ}}}, K_{N_{\text{ОП}}}, K_{\text{ВА}} \right\}, \tag{12}$$

где $K_{\text{ВА}}$ – коэффициент вида алгоритма, равный 1 для управляющего алгоритма, 2 – для вычислительного алгоритма и 3 – для преобразовательного алгоритма;

– **обобщенный коэффициент реального времени** $K_{\text{РВ}}$, учитывающий коэффициент времени выполнения операций в алгоритме $K_{T_{\text{ВО}}}$, коэффициент тактовой частоты K_{F_0}, коэффициент числа ступеней конвейера $K_{N_{\text{СК}}}$:

$$K_{\text{РВ}} \in \left\{ K_{T_{\text{ВО}}}, K_{F_0}, K_{N_{\text{СК}}} \right\}. \tag{13}$$

Для случая отсутствия конвейера используется упрощенная формула для коэффициента реального времени, учитывающая заданное время выполнения операций в алгоритме $T_{\text{ВО}}$ по отношению ко времени ввода $T_{\text{ВВ}}$:

$$K_{\text{РВ}} = \frac{T_{\text{ВВ}}}{T_{\text{ВО}} + T_{\text{ВЫВ}}} = \frac{1}{1 + \frac{T_{\text{ВО}}}{T_{\text{ВВ}}}}. \tag{14}$$

Для $K_{\text{РВ}} \to 1$ время выполнения операций в алгоритме $T_{\text{ВО}} \to 0$ и $T_{\text{ВЫВ}} = T_{\text{ВВ}}$, то есть система работает в реальном времени;

– **обобщенная характеристика** модели $\alpha_{\text{ОБ}}^{(\text{м})}$ формируется на основе множества частных параметров K_i из (4), которые относятся к *характеристикам выбираемого микроконтроллера*: коэффициент производительности $K_{P_{\text{М}}}$, коэффициент разрядности шины данных $K_{N_{\text{ШД}}}$, коэффициент разрядности шины адреса $K_{N_{\text{ША}}}$ и коэффициент объема внутренней памяти программ микроконтроллера $K_{R_{\text{М}}}$. Данные коэффициенты необходимо связать некоторой функцией, которая будет служить обобщенной характеристикой формируемой модели

$$\alpha_{ОБ}^{(M)} = \alpha_{ОБ}^{(M)} \left(K_{P_{\text{М}}}, K_{N_{\text{ШД}}}, K_{N_{\text{ША}}}, K_{R_{\text{М}}} \right). \tag{15}$$

В первом приближении функцией, объединяющей нормированные коэффициенты частных параметров в (11), (12), (13) и (15), может быть **сумма**, где присутствуют нормированные частные параметры и весовые коэффициенты каждого из параметров:

$$\alpha_{\text{ОБ}}^{(\text{м})} = \frac{1}{N_П} \sum_{i=1}^{N_П} q_i \cdot K_i \,, \tag{16}$$

где $N_П$ – число параметров; q_i – весовой коэффициент параметра.

Весовые коэффициенты q_i определяются исходя из доли влияния каждого отдельного параметра K_i на обобщенную характеристику $\alpha_{\text{ОБ}}^{(\text{м})}$. Деление на $N_П$ позволяет пронормировать обобщенную характеристику по количеству обобщенных параметров.

Вид целевой функции

Целевая функция должна удовлетворять ряду условий:
– областью определения должно быть множество положительных значений;
– целевая функция может либо монотонно возрастать до некоторого максимального значения, либо монотонно убывать до минимального значения, то есть иметь «насыщение»;
– целевая функция может иметь один экстремум, по которому даются рекомендации по выбору объекта.

Разделим целевые функции на два класса: гладкие, которые имеют «насыщение», и экстремальные. Причем, используя функции с экстремальными значениями в качестве целевой функции, получаем дополнительную возможность по выбору варианта реализации. Положение экстремума дает оптимальное значение аргумента при заданных исходных параметрах. Примером экстремальных функций могут быть следующие:

Гладкие функции с «насыщением»:
– *степенная функция* – наиболее подходящим видом может служить:

$$f(x) = \begin{cases} 1 - \dfrac{1}{(x^p + 1)}, & \text{для} \quad p > 0, \\ x^p, & \text{для} \quad p \le 0, \end{cases} \tag{17}$$

которая при $p < 0$ стремится к 0, а при $p > 0$ – к единице, то есть к насыщению;
– *показательная функция* – для целевой функции можно использовать $f(x) = a^x$, при $a < 1$, так как при этом $f(x) \to 0$, а для $a \ge 1$ следует поставить показательную функцию в знаменатель дроби:

$$f(x) = \begin{cases} 1 - \dfrac{1}{a^x}, & \text{для} \quad a > 1, \\ a^x, & \text{для} \quad a \le 1; \end{cases} \tag{18}$$

– *логарифмическая функция* – в чистом виде эту функцию использовать нельзя, так как она имеет отрицательные значения при $0 < x < 1$. Кроме того, необходимо иметь «насыщение». Это дает следующий вид:

$$f(x) = \frac{1}{\log_a 2} - \frac{1}{\log_a (x+1)}, \tag{19}$$

для $a > 1$, $x > 1$ значение функции будет стремиться к значению $\lim\limits_{x \to \infty} f(x) = \dfrac{1}{\log_a 2}$;

– *экспоненциальная функция*. Выражение целевой функции в виде экспоненциальной зависимости имеет вид:

$$f(x) = 1 - e^{-ax}. \quad (20)$$

Экспоненциальная функция наиболее удобна для использования в виде целевой функции. В отличие от предыдущих вариантов $\lim_{x\to\infty} f(x) = 1 - e^{-ax} = 1$.

Экстремальные функции:

– *колоколообразная функция или функция Гаусса*. Аналитический вид:

$$f(x) = e^{-\frac{(x-a)^2}{c^2}}, \quad (21)$$

где параметры: a – смещение, c – масштаб. Использование данной функции в качестве целевой функции варианта реализации устройства осуществляется достаточно просто, по экстремуму, который указывает оптимальный вариант;

– *параболическая функция* – $f(x) = x^2$. Также имеет экстремум в виде минимума f_{min}, который определяется смещением. Манипулируя этими функциями, придавая им вид, удобный для выбора, смещая их полностью в область положительных чисел и задавая максимальное значение насыщения, можно получить множество различных функций;

– *экспоненциальная комбинированная функция с минимумом*. Аналитическое выражение имеет вид:

$$f(x) = e^{-c(x-a)} + e^{c(x-a)}. \quad (22)$$

Данную функцию удобно использовать, когда необходимо объединить две зависимости – растущую и падающую. Наличие минимума дает возможность не только реализовать выбор, но и определить оптимальное значение параметра;

– *логарифмическая комбинированная функция с минимумом*. Используются логарифмическая и экспоненциальная зависимости. Аналитическое выражение имеет вид:

$$f(x) = \log\left(e^{(x-a)} + e^{-(x-a)}\right) + c. \quad (23)$$

Данную функцию удобно использовать при большом диапазоне значений, когда аргумент целевой функции изменяется на несколько порядков.

В работе предлагается *аналитическое выражение целевой функции* для различных моделей алгоритмов в виде гауссовой функции с учетом обобщенных нормированных коэффициентов:

$$\beta_{\text{ВП}}^{(\text{М})}(\alpha_{\text{ОБ}}^{(\text{М})}) = K_{\text{АЛ}} \exp\left\{-\frac{(\alpha_{\text{ОБ}}^{(\text{М})} - K_{\text{ИХС}} \cdot K_{\text{РВ}})^2}{\left(\frac{1}{K_{\text{РВ}}}\right)^2}\right\}. \quad (24)$$

Область значений целевой функции (рис. 1) разбивается на зоны, характеризующие собой группы средств реализации.

В общем виде определение интервалов значений целевой функции для различных зон, указывающих на какой-либо выбор, определяется конкретной задачей. На первом этапе можно рассмотреть равномерное распределение участков зон, опираясь на заданную предметную область объекта выбора.

Применительно к выбору средства реализации алгоритмов на основе микроконтроллеров и сигнальных процессоров в работе выделены 4 основных типа, которым соответствуют следующие интервалы значений целевой функции:

– от 0 до 0,25 – зона микроконтроллеров малой разрядности $\text{МК}_{\text{МР}}$, для которых разрядность $N_{\text{ШД}} = 4 \div 8$;

– от 0,25 до 0,5 – зона микроконтроллеров большой разрядности $МК_{БР}$, для которых разрядность $N_{ШД} = 8 \div 16$;
– от 0,5 до 0,75 – зона сигнальных процессоров малой разрядности $СП_{МР}$, для которых разрядность $N_{ШД} = 16 \div 32$;
– от 0,75 до 1,0 – зона сигнальных процессоров большой разрядности $СП_{БР}$, для которых разрядность $N_{ШД} = 32 \div 64$.

Таким образом, зоны средств реализации определились множеством из 4-х значений интервалов средств реализации алгоритмов:

$$\Delta_{\text{СР}}^{(M)} \in \left\{ \Delta_{\text{МК}_{\text{МР}}}^{(M)}, \Delta_{\text{МК}_{\text{БР}}}^{(M)}, \Delta_{\text{СП}_{\text{МР}}}^{(M)}, \Delta_{\text{СП}_{\text{БР}}}^{(M)} \right\}. \quad (25)$$

Попадание значения максимума целевой функции (24) в зону значений (25) определяет тип выбранного средства реализации, а смещение максимума определяет оптимальное значение обобщенной характеристики $\alpha_{opt}^{(\text{м})}$, по которой происходит выбор характеристик микроконтроллера или сигнального процессора внутри определенной группы средств реализации, которая включает в себя параметры, соответствующие обобщенной характеристики целевой функции (15): производительность $P_{\text{М}}$, разрядность шины данных $N_{\text{ШД}}$, разрядность шины адреса $N_{\text{ША}}$ и объем внутренней памяти программ микроконтроллера $R_{\text{М}}$:

$$\alpha_{opt}^{(\text{М})} = \sum q_i \cdot K_{\text{МК},i}, \text{ где } K_{\text{МК},i} \in \left\{ K_{P_{\text{М}}}, K_{N_{\text{ШД}}}, K_{N_{\text{ША}}}, K_{R_{\text{М}}} \right\}. \quad (26)$$

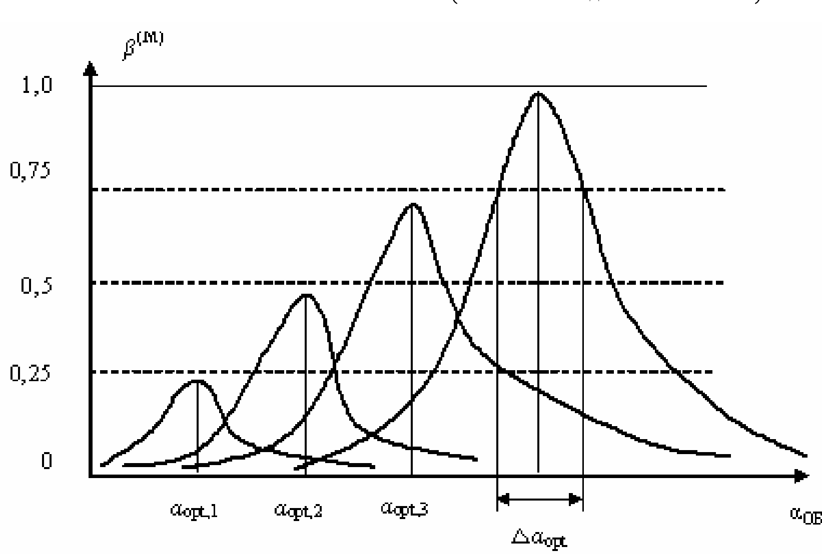


Рисунок 1 – Вид целевой функции при различных значениях обобщенных коэффициентов

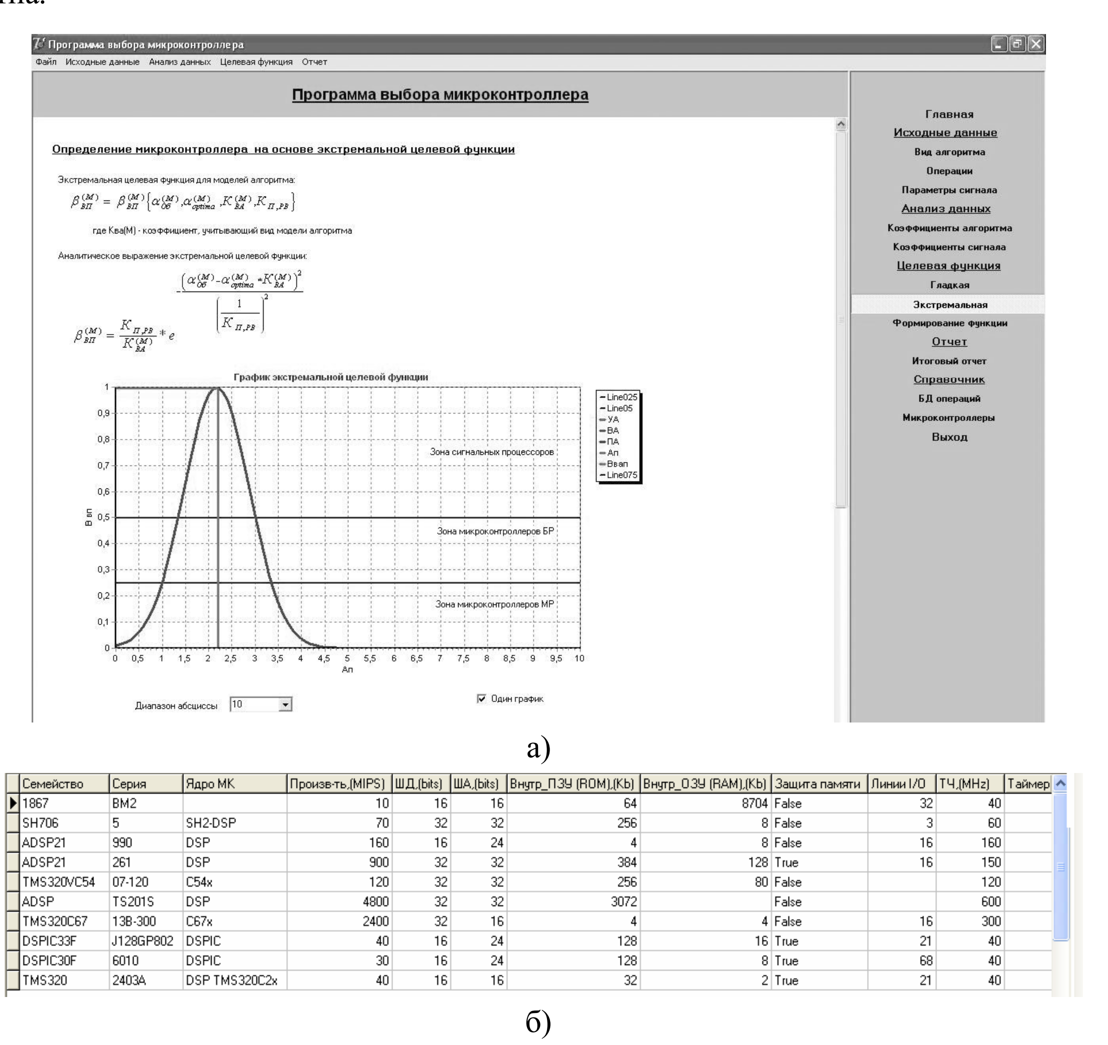
Анализируя влияние коэффициентов, входящих в целевую функцию (24), можно сделать выводы:
– обобщенный коэффициент характеристик алгоритма $K_{\text{АЛ}}$ влияет на попадание максимума целевой функции в интервалы значений, которые определяют группы средств реализации СР выбираемых микроконтроллеров в соответствии со множеством (25). Обобщенный коэффициент характеристик алгоритма $K_{\text{АЛ}}$ должен изменяться в пределах $(0 \div 1)$ и при $K_{\text{АЛ}} \to 1$ максимум целевой функции также $\beta_{\text{ВП}}^{(\text{М})} \to 1$ и должен попадать в более высокие интервалы групп микроконтроллеров;
– обобщенный коэффициент информационных характеристик сигнала $K_{\text{ИХС}}$ совместно с обобщенным коэффициентом реального времени $K_{\text{РВ}}$ определяют смещение целевой

функции $\alpha_{opt}^{(M)}$ в виде оптимального значения обобщенного параметра характеристик выбираемого микроконтроллера (26). Обобщенный коэффициент информационных характеристик сигнала $K_{ИХС}$ должен изменяться в пределах $(0 \div \infty)$;

– обобщенный коэффициент реального времени $K_{РВ}$ в целевой функции (24) определяет крутизну скатов гауссовой функции и определяет ширину максимума $\Delta\alpha_{opt}^{(M)}$, которая определяется ближайшим уровнем значений целевой функции. Коэффициент реального времени $K_{РВ}$ должен изменяться в пределах $(0 \div 1)$ и с ростом требований по быстродействию $K_{РВ} \to 1$ и значение $\Delta\alpha_{opt}^{(M)}$ должно уменьшаться, то есть выбор характеристик микроконтроллеров должен быть более строгим.

В рамках проведенных исследований было разработано программное средство (ПС) в среде *Delphi* 7.0 (рис. 2). Исходными данными для ПС являются:

– назначение алгоритма цифровой обработки сигналов (ЦОС), определяющее вид алгоритма и тип преобразования, выполняемого алгоритмом;
– алгоритм в виде перечня операций с учетом циклических конструкций;
– параметры обрабатываемого сигнала;
– параметры алгоритма и разрядность вычислительного средства, если она заранее известна.



а)

Семейство	Серия	Ядро МК	Произв-ть,(MIPS)	ШД,(bits)	ША,(bits)	Внутр_ПЗУ (ROM),(Kb)	Внутр_ОЗУ (RAM),(Kb)	Защита памяти	Линии I/O	ТЧ,(MHz)	Таймер
1867	BM2		10	16	16	64	8704	False	32	40	
SH706	5	SH2-DSP	70	32	32	256	8	False	3	60	
ADSP21	990	DSP	160	16	24	4	8	False	16	160	
ADSP21	261	DSP	900	32	32	384	128	True	16	150	
TMS320VC54	07-120	C54x	120	32	32	256	80	False		120	
ADSP	TS201S	DSP	4800	32	32	3072		False		600	
TMS320C67	13B-300	C67x	2400	32	16	4	4	False	16	300	
DSPIC33F	J128GP802	DSPIC	40	16	24	128	16	True	21	40	
DSPIC30F	6010	DSPIC	30	16	24	128	8	True	68	40	
TMS320	2403A	DSP TMS320C2x	40	16	16	32	2	True	21	40	

б)

Рисунок 2 – Программное обеспечение: а) вид рабочего поля, б) характеристики микроконтроллеров и сигнальных процессоров

Для выбора средства реализации сформирована база данных, содержащая различные виды 8-, 16- и 32-разрядных микроконтроллеров и сигнальных процессоров. Из базы данных выбираются микроконтроллеры с характеристиками, лежащими в пределах оптимальных значений $\Delta\alpha_{opt}^{(\mathrm{M})}$. В результате работы ПС рассчитываются частные параметры сигнала и алгоритма в виде нормированных коэффициентов, входящих в обобщенную характеристику $\alpha_{\mathrm{ОБ}}^{(\mathrm{M})}$, а также обобщенные коэффициенты $K_{\mathrm{ИХС}}$, $K_{\mathrm{АЛ}}$, $K_{\mathrm{РВ}}$. Программное средство рассчитывает значение целевой функции, сопоставляет его со значением целевой функции для модели выбранного вида алгоритма. При анализе используются интервалы значений целевой функции, попадание в которые означает принятие рекомендаций по выбору вариантов реализации заданного алгоритма с представлением значений рассчитанных параметров.

ПС позволяет не только выдавать результат в соответствии с назначением, но и проводить исследования влияния различных частных параметров на значения целевой функции, а также позволяет определять весовые коэффициенты, входящие в обобщенные параметры и коэффициенты.

Заключение

В заключение отметим следующее: если получены рекомендации для реализации исходного алгоритма микроконтроллерами малой разрядности, то это значит, что данный алгоритм можно реализовать также микроконтроллерами большой разрядности, и сигнальными процессорами; если получены рекомендации реализовать исходный алгоритм с помощью сигнальных процессоров большой разрядности, то это значит, что его можно реализовать только на этой элементной базе и другими средствами этот алгоритм с заданными исходными данными реализован быть не может.

Таким образом, разработан метод выбора средства реализации исходного алгоритма, основанный на сравнении значения целевой функции для конкретного вычислительного процесса и значения целевой функции соответствующей модели алгоритма. Для модели вычислительного процесса обосновано использование значимых характеристик сигналов и алгоритмов их обработки. Предложено выражение для целевой функции модели вычислительного процесса в виде гауссовой кривой. Разработано программное средство для решения задачи выбора средств реализации алгоритмов, проведены численные эксперименты, подтверждающие основные теоретические результаты работы.

Разработанный метод позволяет обоснованно с использованием количественных оценок выбрать базу реализации алгоритма специализированных устройств цифровой обработки последовательных потоков данных.

О.С. Литвинська, І.І. Сальников

Застосування цільової функції у системі підтримки прийняття рішень при виборі варіанта реалізації алгоритму послідовної обробки даних

Для моделі обчислювального процесу обґрунтовано використання значущих характеристик сигналів та алгоритмів їх обробки на основі експертних оцінок. Запропоновано аналітичний вираз цільової функції, в яку входять параметри як оброблюваного сигналу, так і характеристики використовуваного алгоритму. Розроблена програма для розв'язання задачі вибору засобу реалізації алгоритмів, наведені числові експерименти, які підтверджують основні теоретичні результати роботи. Розроблений метод дозволяє обґрунтовано з використанням кількісних оцінок вибрати варіанти реалізації спеціалізованих пристріїв цифрової обробки послідовних потоків даних.

Статья поступила в редакцию 20.05.2009.